

# 昼光利用照明設計のための基礎研究（その6）

— 全昼光照度からの直射日光照度の推定 —

土井 正\*・井本 由里子\*\*

## Study on Lighting Designing Based on Daylight (Part 6)

— The Estimation of Direct Sunlight Illuminance  
from Global Illuminance of Daylight —

TADASHI DOI and YURIKO IMOTO

### 1. はじめに

これまで直射日光をも積極的に利用する総合的な昼光照明設計手法の提案を行ってきた。<sup>1)</sup> 昼光エネルギーの有効利用は人工照明用電力の削減及び照明器具による発熱負荷の低減だけでなく、太陽直射光の室内への導入によって生じる冷房負荷の増加を伴うことの影響を総合的に考慮して評価される。通常、動的熱負荷計算には各地の気象官署等で永年観測され、資料の蓄積のある日射量が標準気象データとして用いられる。一方、動的負荷計算に供される昼光照度資料は未だ整備されていないことから、熱負荷計算と同時に人工照明の調光のシミュレーションを行う場合、日射量から昼光照度を誘導して用いることになる。その際、直射日光照度及び天空光照度は直達及び天空拡散日射量と昼光の発光効率から算出されるが、全天日射量をなんらかの方法によって直散分離する必要が生じる。そこで、宿谷らは宇田川・木村の日射量直散分離の方法<sup>2)</sup>で全天日射量を直達及び天空拡散日射量に分離した後、発光効率から成分別に照度換算する方法を提案<sup>3)</sup>している。しかしながら、昼光と人工照明の併用を前提とする動的計算であるなら、人工照明の点滅による視作業への生理的影響が考慮されなければならない。そのため、瞬時値である昼光照度の変動を少なくとも分の単位で捉えたものが要求されるが、時間積算量で示される日射量からはその変動を求めることはできない。さらに、昼光の発光効率について、全天成分の値はほぼ同じであるが直射及び天空成分については大気の状態、天候及び地域の違い等によって多くの異なる値

が報告されている<sup>4)</sup>。以上の理由から、日射量を用いて照度を算出する手法については疑問が持たれる。従って、全国的な昼光照度の観測による資料の蓄積が要求されているといえる。全昼光照度及び直射日光照度の観測が求められるが、通常用いる光電池型の照度計は長時間の直射日光の射入による受感部の劣化や温度上昇による感度補償の問題があり、一般的には遮蔽装置によって直射日光を遮蔽することで天空光照度を測定し、全昼光照度から天空光照度を減じて直射日光照度とする。しかし、遮蔽装置の調整や遮蔽された天空部分の補正による誤差が生じる。また、数年以上の長期間の観測には遮蔽装置の調整に要する労力も多大なものになることを考慮すれば、ほぼメンテナンスフリーで測定可能な全昼光照度から直散分離する方法が簡便と言える。そこで、直散成分別の昼光照度の実測から、全昼光照度の直散分離を求めた。全天日射量の直散分離式との比較検討を行ったので報告する。

### 2. 解析方法

#### 2.1 測定

測定は大阪市（東経135° 30'・北緯34° 35'・地上高約20m）において、照度計（ミノルタ製T-1）を設置し、毎日午前6時から午後6時まで1分間隔で水平面全昼光照度及び天空光照度を測定している。天空光照度については、遮蔽リング（英弘精機製）を用いて直射日光を遮ることで天空光としている。直射光照度は全昼光照度、天空光照度から算出したものを測定値として取り扱っている。同様に、日射量についても、日射計（英弘精機製ソーラメータMS100、同ネオ日射計MS42の併設で精度を確認<sup>5)</sup>）を用いて測定している。本報では、1984年6月21日から1985年6月20日までの一年間を

\* 大阪市立大学生活科学部

\*\* タカラスタンダード株式会社

解析期間とする。

## 2.2 解析

解析には、採光昼間とされる太陽高度 $10^\circ$ 以上の測定値について10分間隔に抽出して用いた。本報で用いた記号を以下に示す。水平面全昼光照度と法線面直射日光、水平面天空光照度との間には(1)式の関係にあり、 $E_{TH}$ 、 $E_{DH}$ 、 $E_{dH}$ のいずれかの2つの関係が与えられれば、全昼光を直射光と天空拡散光に分離できる。日射量についても同様に、(2)式の関係で示される。

測定値は(3)–(6)式の如く、大気圏外の水平面の昼光照度 $E_0 \cdot \sinh$ 及び日射量 $I_0 \cdot \sinh$ で除して正規化した。

$$E_{TH} = E_{DH} + E_{dH} = \sinh \cdot E_{DN} + E_{dH} \quad (1)$$

$$I_{TH} = I_{DH} + I_{dH} = \sinh \cdot I_{DN} + I_{dH} \quad (2)$$

$$K_T = E_{TH} / (E_0 \cdot \sinh) \quad (3)$$

$$K_{IT} = I_{TH} / (I_0 \cdot \sinh) \quad (4)$$

$$K_D = E_{DH} / (E_0 \cdot \sinh) \quad (5)$$

$$K_{ID} = I_{DH} / (I_0 \cdot \sinh) \quad (6)$$

ここで、

$E_{TH}$  : 水平面全昼光照度 [lx]

$E_{DH}$  : 水平面直射光照度 [lx]

$E_{dH}$  : 水平面天空光照度 [lx]

$E_{DN}$  : 法線面直射日光照度 [lx]

$E_0$  : 大気圏外法線面照度 [lx]

$I_{TH}$  : 水平面全天日射量 [ $\text{kw} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$I_{DH}$  : 水平面直達日射量 [ $\text{kw} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$I_{dH}$  : 水平面天空日射量 [ $\text{kw} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$I_{DN}$  : 法線面直達日射量 [ $\text{kw} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$I_0$  : 大気圏外法線面日射量 [ $\text{kw} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$h$  : 太陽高度 [ $^\circ$ ]

## 3. 結果及び考察

### 3.1 日射量及び昼光の発光効率による昼光照度の推定

空調負荷計算を主体とする場合、昼光照度は日射量から昼光の発光効率を用いて算出されるが、直射及び天空成分は全天成分を直散分離することによって得られる。宇田川・木村は館野高層気象台（東経 $140^\circ 08'$ ・北緯 $36^\circ 03'$ ）における水平面全天日射量及び天空拡散日射量の観測値を用いて、全天日射量から直達日射量を推定する回帰式を以下のように提案している。

$$K_{ID} = -0.43 + 1.43K_{IT} \quad (K_{IT} \geq K_{IP}) \quad (7)$$

$$K_{ID} = (2.277 - 1.258\sinh + 0.2396\sin^2 h) K_{IT}^3 \quad (K_{IT} < K_{IP}) \quad (8)$$

$$K_{IP} = 0.5163 + 0.333\sinh + 0.00803\sin^2 h \quad (9)$$

これは、全天及び直達の関係を一、二次式と三次式の組合せで表したもので、その交点となる全天日射量の値 $K_{IP}$

を(9)式で近似したものである。全天及び直達の関係の季節的な変化を太陽高度の季節変化として $\sinh$ をパラメータとしたものである。

大阪における筆者らの日射量測定値について、宇田川・木村の手法を用いて(7)–(8)式によって正規化した全天日射量及び直達日射量の関係を図1、図2に示す。回帰式を求め(10)–(12)式に示す。

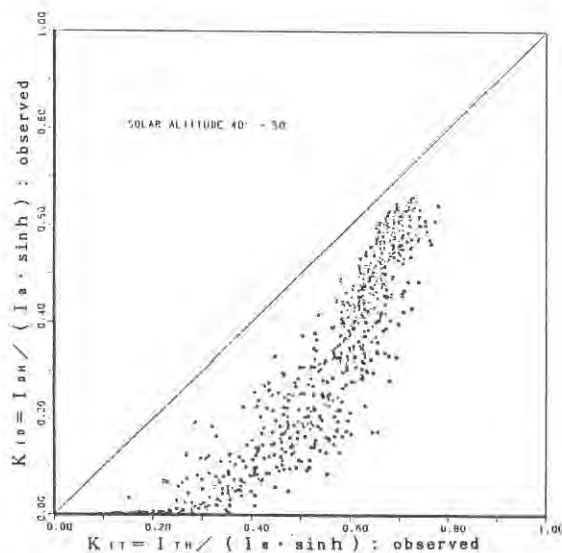


図1 全天日射量と直達日射量の相関  
(大阪における観測値)  $40^\circ \leq h < 50^\circ$

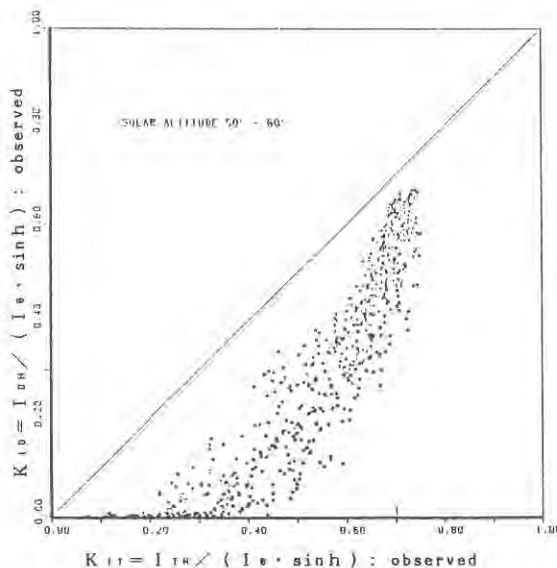


図2 全天日射量と直達日射量の相関  
(大阪における観測値)  $50^\circ \leq h < 60^\circ$

$$K_{ID} = 1.23 \cdot K_{TH} - 0.23 \quad (K_{TH} \geq K_{IP}) \quad (10)$$

$$K_{ID} = (6.4573 - 0.2144 \cdot h + 0.0033 \cdot h^2) \cdot K_{TH}^3 \quad (K_{TH} < K_{IP}) \quad (11)$$

$$K_{IP} = 0.0033 + 0.0298 \cdot h - 0.0004 \cdot h^2 \quad (12)$$

次に、まず全昼光照度から全天成分の発光効率を用いて全天日射量を求め、これらの直散分離式を用いて直達日射量を算出し、これに直射成分を発光効率を乗じて直達日光照射度の推定を行った。年間の測定値と計算値との

比較について(7)–(9)式及び宿谷らの発光効率<sup>2)</sup>によるものを図3、4に、(10)–(12)式及び筆者の発光効率<sup>6)</sup>によるものを図5、6に示す。これによれば、宇田川・木村式による計算値は概ね全高度域とも測定値より大きい傾向が認められる。これは、高層気象の観測を目的とする大気の清浄な館野に比べて、産業活動の激しい大都市である大阪の方が大気の混濁因子が多いため天空成分が多くなっていることから、全天日射量が同じであれば直達

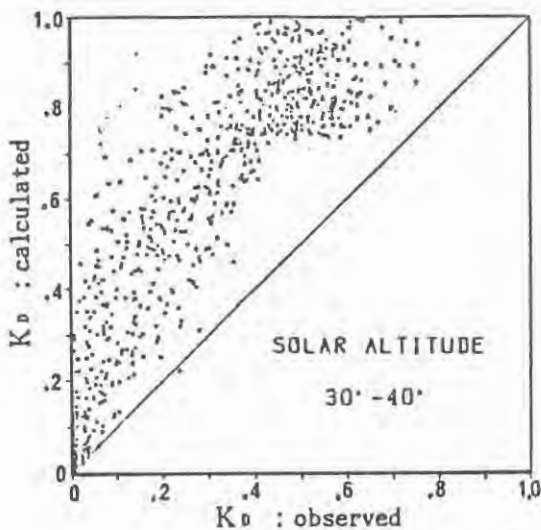


図3 直射日光照射度の計算値と測定値との比較  
(文献2)，3)より計算)

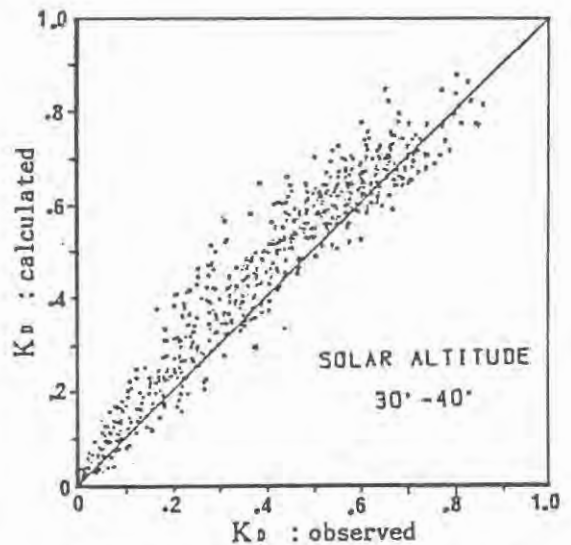


図5 直射日光照射度の計算値と測定値との比較  
(10)–(12)式，文献6)より計算)

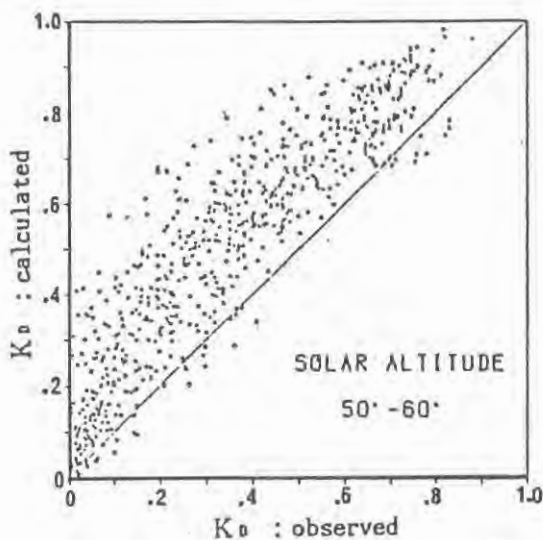


図4 直射日光照射度の計算値と測定値との比較  
(文献2)，3)より計算)

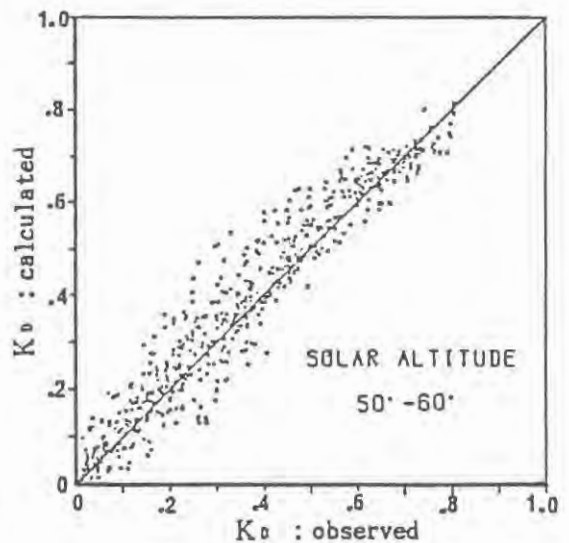


図6 直射日光照射度の計算値と測定値との比較  
(10)–(12)式，文献6)より計算)

成分の計算値が大きくなると推定される。昼光も同様の影響を受けるのであるが、太陽高度が低いほど大気を透過する距離が長くなることから波長の短い昼光の直射成分の方が日射に比べて散乱によって減少するから、その発光効率は小さくなると考えられる。大阪の直射日光の発光効率は館野の観測値から得られたものよりも小さい。そのため、図5、6において精度が向上したと考えられる。

### 3.2 昼光照射度の直散分離式の検討

次に、日射量と同様に正規化した全昼光及び直射日光照射度の関係を見ると、図7、8に示すように日射量式と同様に太陽高度をパラメータに1次式と3次式の組み合わせで回帰することができる。回帰式の適用範囲を定める $K_F$ 及び1次式部分の勾配 $A$ については太陽高度による変化が認められることからさらに、2次式で近似している。以下に回帰式を示す。

$$K_D = (1 - A) + A \cdot K_T \quad (K_T \geq K_F) \quad (13)$$

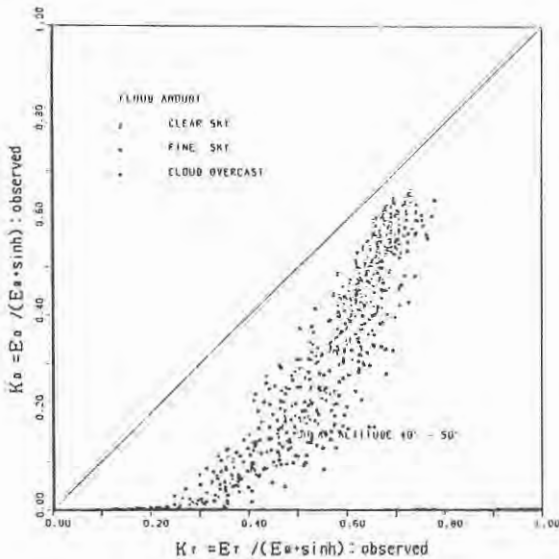


図7 全昼光照射度と直射日光照射度の相関 ( $40^\circ \leq h < 50^\circ$ )

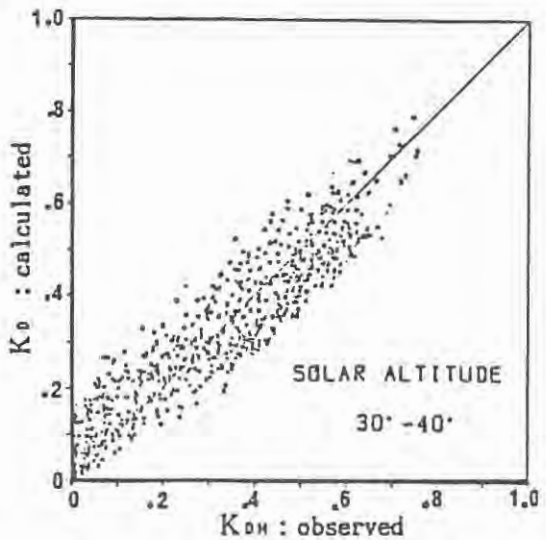


図9 直射日光照射度の計算値と測定値との比較 ((13) - (16) 式より計算)

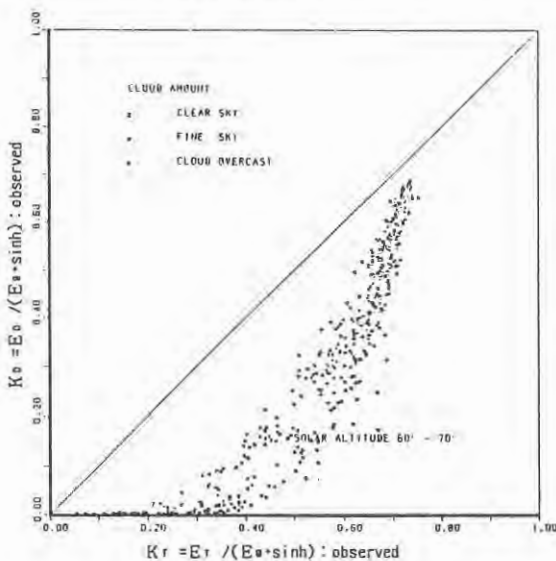


図8 全昼光照射度と直射日光照射度の相関 ( $60^\circ \leq h < 70^\circ$ )

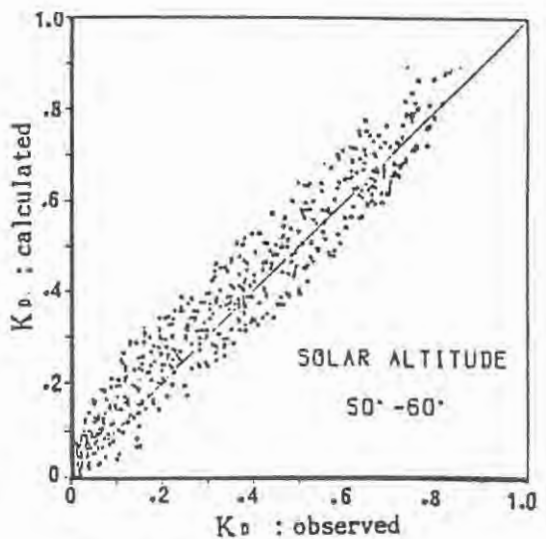


図10 直射日光照射度の計算値と測定値との比較 ((13) - (16) 式より計算)



$$A = 0.9117 + 0.0984 \cdot h - 0.0021 \cdot h^2 \quad (14)$$

$$K_0 = (1.3080 - 0.0173 \cdot h) \cdot K_T^2 \quad (K_T < K_0) \quad (15)$$

$$K_0 = 0.500 + 0.0072 \cdot h - 0.0001 \cdot h^2 \quad (16)$$

これを用いて、全昼光照度から求めた直射日光照度の計算値と測定値を図9、10に示す。これによると、日射量の直散分離法及び発光効率の適用より、全昼光照度から直射日光照度の推定が精度よくできることがわかる。

#### 4. ま と め

1) 日射量の直散分離式及び昼光の発光効率を用いて全昼光照度から直射日光照度を算出する場合、発光効率によっては低い太陽高度で、計算値が測定値より大きくなり昼光照明への直射日光の寄与率を過大に評価する傾向が認められた。

2) 昼光照度の直散分離式を求めた。日射量の場合の宇田川・木村式<sup>1)</sup>と同じく1次式3次式の組み合わせで回帰できた。しかしながら、1次式部分の勾配については太陽高度によって変化する傾向があり、その勾配を太陽高度から回帰する方法を取った。昼光の発光効率及日射量によるものより精度の向上が認められた。

#### 文 献

- 1) 中根・土井・横田：光拡散性固定型ブラインドの開発及びそれによる昼光照明設計法，日本建築学会環境工学論文集第5号，pp89-94，1983. 11
- 2) 宇田川・木村：水平面全天日射量観測値よりの直達日射量推定，日本建築学会論文報告集，No.267，pp83-90，1978. 5
- 3) 宿谷・木村：昼光の発光効率による毎時水平面日射量からの照度の推定，日本建築学会論文報告集，No.293，pp85-96，1980. 7
- 4) P. J. Littlefair：The Luminous Efficacy of Daylight：a Review，Building Research Establishment，Department of the Environment，1985. 4
- 5) 土井・中根：昼光照度及び日射量に関する研究（その2 日射計の比較検討），大会学術講演梗概集，環境工学，pp609-610，1986. 8
- 6) 土井・中根：雲による昼光変動に関する研究，日本建築学会近畿支部研究報告集第27号，pp137-140，1987. 5

（昭和63年10月11日受理）

#### Summary

The authors have been suggesting the integrated daylighting method taking account of direct sunlight. For the prediction of indoor illuminance of daylight with the said method, the illuminance data including direct sunlight data required.

The purpose of this study is to find the relationship between global illuminance of daylight and direct component of it to estimate direct sunlight illuminance only global illuminance in any sky conditions by analyzing the data of global illuminance of daylight and diffuse skylight illuminance observed at latitude 35°35'N, longitude 135°35'E.

As the statistical analysis showed the possibilities of estimating the direct component only from global illuminance of daylight, the regression model expressed by a combination of linear and cubic equations, in which direct component is expressed directly as the functions of global illuminance, was presented.